

**STUDI HAZARD SEISMIK DAN HUBUNGANNYA DENGAN
INTENSITAS SEISMIK DI PULAU SUMATERA DAN SEKITARNYA**
*SEISMIC HAZARD STUDIES AND ITS CORRELATION WITH SEISMIC INTENSITY IN
SUMATERA AND ITS SURROUNDING*

Edy Santoso¹, Sri Widiyantoro², I Nyoman Sukanta¹

¹*Bidang Seismologi Teknik BMKG, Jl Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720*

²*Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Jl Ganesha 10, Bandung 40132*

E-mail : edy.santoso@bmgk.go.id

ABSTRAK

*Zona subduksi di sepanjang pantai barat dan sesar aktif yang berada di pulau Sumatera merupakan sumber gempa bumi yang aktif. Upaya peningkatan mitigasi di wilayah Sumatera menjadi bagian yang penting, untuk itu diperlukan suatu studi hazard seismik dan hubungannya dengan intensitas seismik di pulau Sumatera dan sekitarnya. Studi ini menggunakan data dukung seperti data katalog gempa bumi, data sesar, data subduksi, data intensitas seismik dan data pga dari rekaman akselerograf BMKG. Berdasarkan hasil studi hazard seismik, diperoleh beberapa kota besar di Sumatra yang mempunyai hazard seismik tinggi seperti : Banda Aceh, Padang, Bengkulu dan Bandar Lampung. Hasil studi hubungan empiris antara nilai percepatan tanah maksimum (PGA) rata - rata dan data intensitas seismik (MMI) observasi diperoleh rumusan : $I (MMI) = 0.008 * PGA (gal) + 3.159$. Berdasarkan pendekatan hasil studi sementara wilayah Sumatera dengan beberapa hasil penelitian para ahli luar negeri, maka rumusan empiris Wald et al. (1999) mempunyai hasil yang cukup dekat dengan hasil studi pada nilai PGA 0 -200 gal. Sedangkan rumusan empiris Lepolt (2008) untuk nilai PGA 200-1000 gal.*

Kata kunci : Hazard seismik, Intensitas, PGA, Sumatera

ABSTRACT

*The existence of the subduction zone along the west coast and active faults in Sumatra is an active source of earthquakes. Increased mitigation efforts in the region became an important part of Sumatra. It required a study of seismic hazard and its relationship with seismic intensity on the island of Sumatra and surrounding areas. This study used data supporting such an earthquake catalog data, data delivery, data subduction, earthquake intensity data and PGA data from recording akselerograf BMKG Based on the results of seismic hazard studies, acquired several major cities in Sumatra that have a high seismic hazard such as Banda Aceh, Padang, Bengkulu and Bandar Lampung. The results of an empirical study of the relationship between rate the value of maximum ground acceleration (PGA) and seismic intensity (MMI) observations obtained by the formula: $I (MMI) = 0008 * PGA (gal) + 3159$. Based on the approach to the study while the region of Sumatra by several findings by scientists abroad, then the empirical formulation of Wald et al. (1999) have results quite close to the results of studies on the PGA 0 -200 gal. While the empirical formula Lepolt (2008) for the PGA 200-1000 gal.*

Keywords : Seismic Hazard, Intensity, PGA, Sumatera

Naskah masuk : 10 Juni 2011

Naskah diterima : 13 September 2011

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kejadian alam berupa gempa bumi yang menghasilkan gerakan tanah dapat menimbulkan kerusakan di permukaan bumi dinamakan bahaya kegempaan (*hazard* seismik)¹⁾. Kerusakan di permukaan bumi yang dapat dilihat disebut intensitas seismik. Intensitas seismik menggunakan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI), yang ditulis dalam angka romawi antara I dan XII²⁾. Intensitas seismik dalam studi ini dianggap mempunyai hubungan dengan *hazard* seismik.

Lokasi studi dipilih pulau Sumatera, karena pada daerah tersebut sangat rawan terhadap terjadinya bahaya bencana gempa bumi yang dapat merusak dan menyebabkan kerugian, baik kerugian korban jiwa maupun kerugian material. Seperti contoh gempa Aceh 26 Desember 2004 yang diikuti dengan kejadian tsunami. Kejadian gempa pada daerah tersebut disebabkan oleh beberapa sumber gempa. Sumber gempa yang pertama yaitu adanya patahan yang memanjang dari selat Sunda hingga bagian utara pulau Sumatera. Patahan Sumatera ini terdiri dari sekitar 20 segmen utama³⁾. Sumber gempa kedua adalah zona subduksi di wilayah lepas pantai barat Sumatera, karena lempeng (Samudra) Indo-Australia bergerak menunjam ke bawah lempeng (benua) Eurasia. Batas tumbukan dua lempeng ini dapat diamati berupa jalur palung laut dalam di sebelah barat Sumatera sampai Kep. Andaman. Kecepatan penunjaman lempeng Hindia dibawah Sumatera sekitar 50 - 60 mm/tahun dan kemiringan dari zona penunjamannya sekitar 12°⁴⁾.

Tujuan dari studi *hazard* seismik dan hubungannya dengan intensitas seismik di pulau Sumatera adalah :

- Studi pemetaan daerah rawan kegempaan di pulau Sumatera dan sekitarnya dengan metoda analisis probabilitas *hazard* seismik (PSHA).
- Penentuan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar pada kota - kota besar di Pulau Sumatera dan sekitarnya.
- Membangun hubungan empiris yang dapat digunakan untuk mengestimasi dengan cepat intensitas seismik di suatu lokasi studi.
- Membandingkan beberapa hasil model penelitian hubungan intensitas seismik (MMI) dengan percepatan tanah maksimum (PGA)

yang dilakukan oleh para ahli di luar negeri dengan hasil model studi di wilayah Sumatera.

1.2. Teori Probabilistik Seismik *Hazard Analysis*

Teori ini mengasumsikan bahwa magnitudo gempa (M) dan jarak (R) sebagai variabel acak independen yang menerus⁵⁾. Dalam bentuk umum teori probabilitas total ini dapat dinyatakan sebagai berikut⁵⁾:

$$P [I \geq i] = \int_r \int_m P [I \geq i | m \text{ dan } r] f_m(m) f_r(r) dm dr \quad (1)$$

Dimana :

f_m = fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari magnitudo.

f_r = fungsi kepadatan probabilitas (*probability density function*) dari jarak hiposenter.

$P [I \geq i | m \text{ dan } r]$ = kondisi probabilitas acak intensitas (I) yang melampaui nilai (i) pada suatu lokasi akibat magnitudo gempa (M) dan jarak hiposenter (R).

1.3. Model Sumber Gempa

Model sumber gempa sesar adalah suatu model sumber gempa yang identifikasinya berdasarkan geometri atau *fault*⁵⁾. Model sumber gempa subduksi adalah suatu model seismotektonik yang teridentifikasi dengan baik sehingga dapat dipetakan jalurnya. Dengan menggunakan metode *likelihood* pada areal subduksi, didapatkan nilai *rate* (laju pergerakan lempeng tektonik) dan *b-value* (gambaran karakteristik tektonik kegempaan dari suatu daerah), serta batas kedalaman area subduksi. Model sumber gempa background adalah suatu model sumber gempa yang dibuat karena adanya suatu kejadian gempa pada suatu daerah namun pada daerah sumber yang ditinjau belum ada data seismogeniknya.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Data

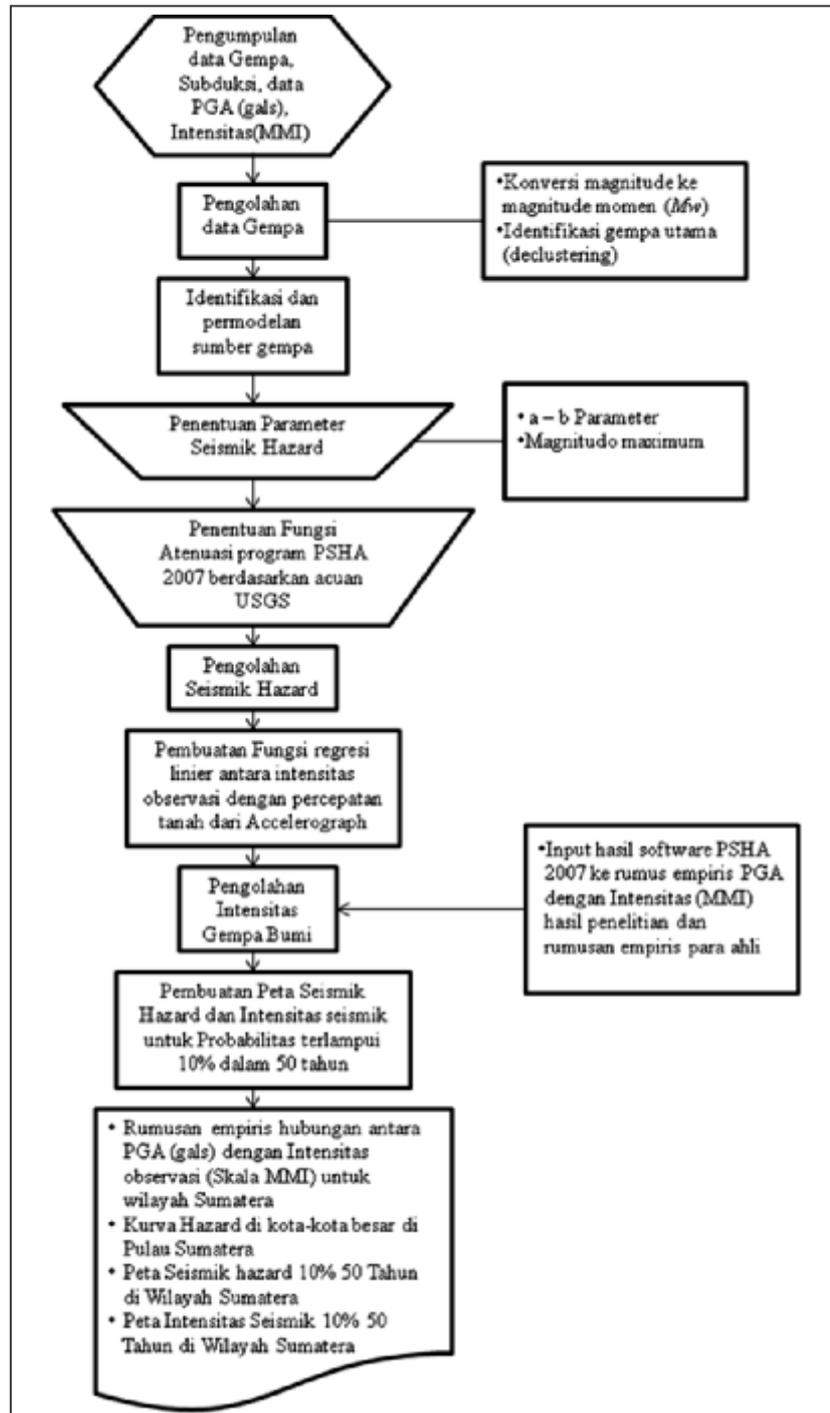
Data yang digunakan dalam studi ini berupa data katalog gempa bumi yang meliputi wilayah Sumatra dengan koordinat geografis 100LU - 10°LS dan 91,7° BT - 106° BT selama kurang lebih 46 tahun, dengan nilai magnitudo diatas 5 M_w dan kedalaman maksimum pusat gempa 300 Km. Data yang kedua adalah data sesar yang ada di pulau

Sumatera yang terdiri dari 20 segmen sesar⁴⁾. Data yang ketiga adalah data subduksi dangkal yang terdiri dari empat zona yaitu : zona subduksi *megathrust* andaman Sumatera, zona *megathrust* M1 (Nias) Sumatra, zona *megathrust* M2 (Siberut) Sumatra, dan zona *megathrust Southern* Sumatera⁶⁾.

2.2. Metodologi

2.2.1. Metode Decluster

Metode decluster untuk memisahkan gempa utama dari sekumpulan kejadian gempa bumi, dengan mencari kriteria berdasarkan suatu rentang waktu dan jarak tertentu dari satu kejadian gempa besar⁷⁾.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data

2.2.2. Metoda Probabilistik Seismik Hazard Analysis

Metode ini secara garis besar dapat diuraikan menjadi empat langkah yaitu⁸⁾ :

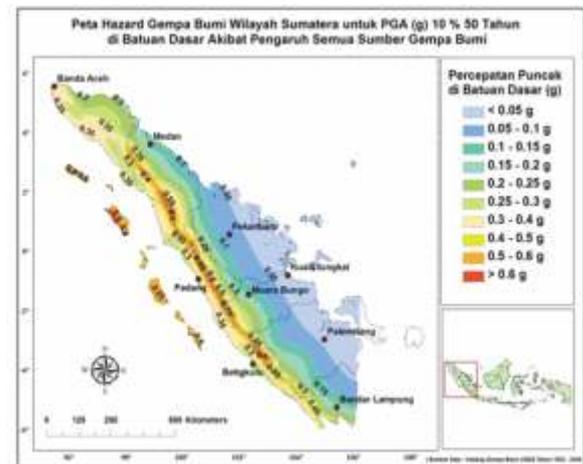
1. Langkah pertama, identifikasi dan karakterisasi dari sumber gempa.
2. *Ground motion* akan dihasilkan di suatu site oleh suatu kejadian gempa bumi dari suatu ukuran kemungkinan kejadian di suatu titik kemungkinan dalam masing - masing zona sumber gempa.
3. Percepatan maksimum pada suatu lokasi akibat suatu kejadian gempa bumi ditentukan dari fungsi atenuasi.
4. Ketidakpastian dari lokasi gempabumi, ukuran gempabumi, dan *ground motion* parameter prediksi dikombinasikan untuk memperoleh probabilitas dari parameter percepatan tanah maksimum (PGA) yang akan terlampaui pada periode waktu tertentu.

2.2.3. Fungsi - Fungsi Atenuasi Intensitas Seismik

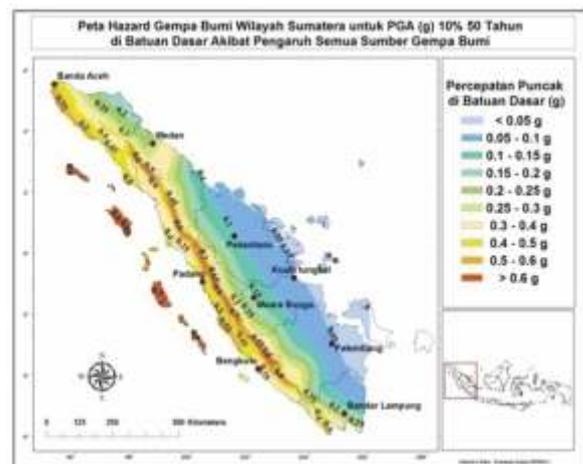
- a. Rumusan Gutenberg & Richter⁹⁾.
Untuk wilayah Western USA.
 $MMI = 3,00 \log (PGA) + 1,50 \dots \dots \dots (2)$
- b. Rumusan Hershberger¹⁰⁾
Untuk wilayah Western USA.
 $MMI = 2,33 \log (PGA) + 2,1 \dots \dots \dots (3)$
- c. Rumusan Trifunac & Brady¹¹⁾
Untuk wilayah Western USA.
 $MMI = 3,33 \log (PGA) - 0,47 \dots \dots \dots (4)$
- d. Rumusan Murphy & O'Brien¹²⁾
Untuk wilayah Western USA, Japan, *Southern Europe*
 $MMI = 2,86 \log (PGA) + 1,24 \dots \dots \dots (5)$
- e. Sauter & Shah¹³⁾
Untuk wilayah yang tidak diketahui.
 $MMI = 3,62 \log (PGA) - 0,90 \dots \dots \dots (6)$
- f. Wald et al.¹⁴⁾
Untuk wilayah California.
 $MMI = 2,20 \log (PGA) + 1,00 \dots \dots \dots (7)$
- g. Lepolt Linkimer¹⁵⁾
Untuk wilayah Costa Rica USA.
 $MMI = 2,30 \log (PGA) + 0,92$
 $(II < MMI < V) \dots \dots \dots (8)$
 $MMI = 3,82 \log (PGA) - 1,78$
 $(V < MMI < VII) \dots \dots \dots (9)$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Peta Hazard* Gempa Bumi Data Katalog Gempa Bumi USGS dan BMKG



Gambar 2. *Peta Hazard* gempa bumi dari data katalog USGS

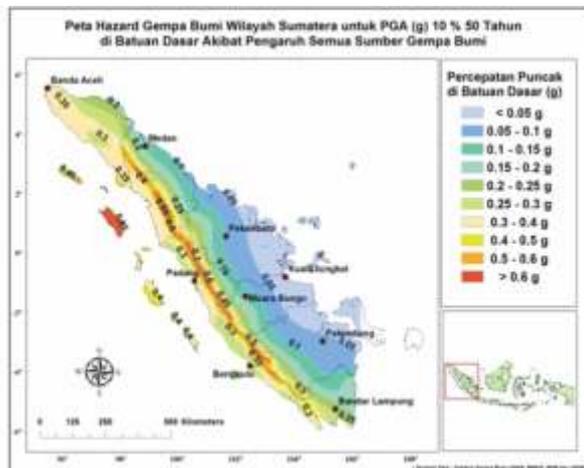


Gambar 3. *Peta Hazard* gempa bumi dari data katalog BMKG

Pada pulau-pulau kecil disekitar bagian barat pulau Sumatera umumnya nilai PGA dari data katalog BMKG lebih besar bila dibandingkan dengan data katalog USGS dengan rentang selisih nilai PGA sekitar 0,2 - 0,3 g. Perbedaan nilai PGA ini disebabkan oleh data pada katalog BMKG yang digunakan hanya berselang waktu 6 tahun. Sedangkan pada data USGS sekitar 37 tahun. Rentang waktu data yang digunakan serta kualitas data yang digunakan akan mempengaruhi parameter *a-b value* dan nilai *hazard* gempa bumi yang dihasilkan. Parameter *b* menggambarkan karakteristik tektonik kegempaan dari suatu daerah sedangkan nilai *a* menunjukkan karakteristik data

pengamatan yang tergantung pada lamanya pengamatan dan tingkat seismisitas

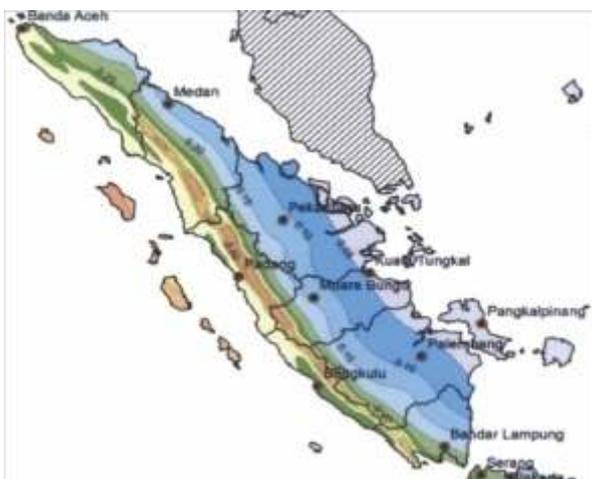
3.2. Peta Hazard Gempa Bumi dari Data Katalog Gabungan (ANSS, BMKG, EHB dan USGS)



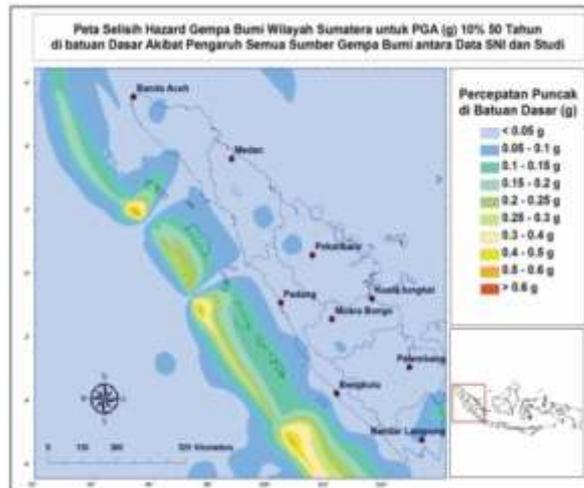
Gambar 4. Peta *Hazard* gempa bumi dari data katalog gabungan

Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar paling tinggi sekitar lebih besar dari 0,6 g terjadi di pulau Nias dan daerah yang berada tepat diatas sesar Angkola, sesar Barumon, sesar Sumpur, sesar Sianok, sesar Sumani, sesar Suliki, sesar Manna. Hal ini disebabkan oleh aktifitas sumber gempa bumi sesar, *background* maupun subduksi. Aktifitas ketiga sumber ini dapat terlihat pada kurva hazard disekitar wilayah tersebut.

3.3. Perbandingan Hasil Studi dengan Penelitian Sebelumnya



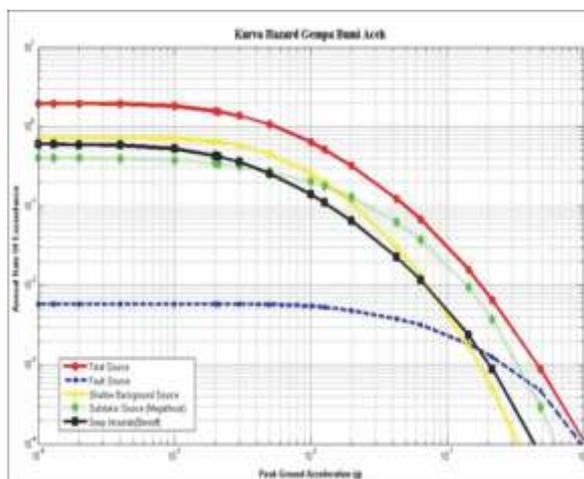
Gambar 5. Peta SNI 2010 untuk periode 0.05 detik periode ulang 500 tahun¹⁶⁾.



Gambar 6. Peta selisih percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar antara data SNI dan studi.

Selisih terbesar antara nilai PGA SNI 2010 dengan nilai PGA hasil studi pada wilayah segmen *Megathrust*. Nilai PGA mempunyai rentang antara 0,05 g hingga 0,6 g. Sedangkan untuk di pulau Sumatera perbedaannya tidak terlalu signifikan dengan maksimum perbedaan kurang dari 0,05 hingga 0,15 g.

3.4. Kurva Hazard Pada Beberapa Kota Besar di Indonesia



Gambar 7. Kurva *hazard* di batuan dasar kota Aceh

Sumber gempa bumi yang mempunyai laju kejadian pertahun (*annual rate of exceedance*) terbesar adalah sumber gempa bumi *shallow background*. Jika dilihat dari segi *hazard* gempa bumi pada batuan dasar, maka kontribusi dari sumber gempa sesar adalah yang paling besar.

3.5. Pembuatan Fungsi Intensitas Seismik Observasi (MMI) dengan Percepatan Tanah Maksimum (PGA) Rekaman Accelerograph BMKG

- Hasil rumusan empiris antara Intensitas (MMI), magnitudo dan jarak site ke hiposenter *max.* 300 Km untuk kedalaman sumber gempa ≤ 40 Km¹⁷, yaitu:

$$I(\text{MMI}) = 0,910 * \text{Mag} + 26,620 * \left(\frac{1}{R}\right) - 2,195 \dots \dots \dots (10)$$

- Hasil rumusan empiris antara Intensitas (MMI), magnitudo dan jarak site ke hiposenter *max.* 300 Km untuk kedalaman sumber gempa ≤ 40 Km¹⁷, yaitu:

$$I(\text{MMI}) = 1,144 * \text{Mag} + 58,069 * \left(\frac{1}{R}\right) - 3,569 \dots \dots \dots (11)$$

Dimana :

I (MMI) = Intensitas Seismik (MMI).

Mag = Magnitudo (SR).

R = Jarak dari site ke hiposenter (Km).

Persamaan 10 dan 11, akan digunakan sebagai suatu model Intensitas yang mewakili daerah studi.

3.6. Rumusan Empiris Hasil Studi Antara Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Wilayah Sumatera

Nilai dari intensitas seismik dari model persamaan 10 dan 11, akan dihubungkan dengan nilai percepatan tanah maksimum hasil rekaman alat akselerograf. Hubungan empiris dari intensitas seismik dan nilai percepatan tanah maksimum seperti pada persamaan dibawah ini:

$$I(\text{MMI}) = 0,008 * \text{PGA} + 3,159 \dots \dots \dots (12)$$

Dimana :

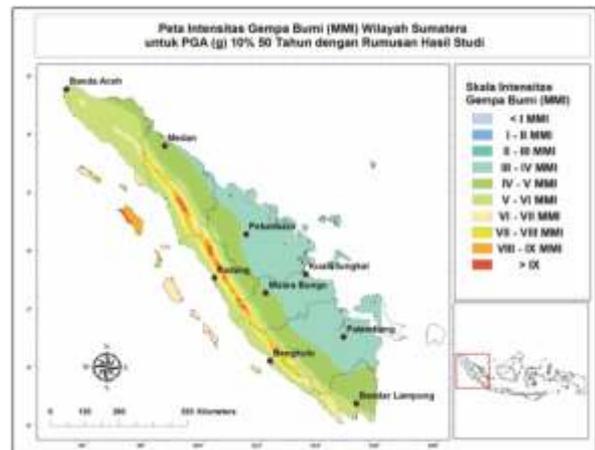
I (MMI) = Intensitas (MMI)

PGA = Percepatan tanah maksimum (gal)

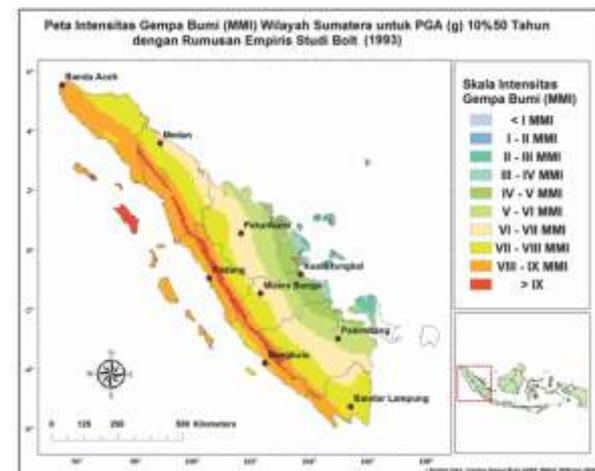
3.7. Pengolahan Intensitas Seismik (MMI)

Pembuatan peta intensitas dengan memasukan nilai PGA yang didapatkan dengan menggunakan metode PSHA. Hasil keluaran dengan metode PSHA berupa grid dan nilai PGA wilayah studi seperti pada Gambar 4. Hasil nilai PGA tersebut kemudian di masukan kedalam persamaan 12 yang nantinya akan diinterpolasikan antar titiknya sehingga didapatkan Gambar 8 dan 9. Peta intensitas yang dihasilkan merupakan peta

probabilitas untuk kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang 500 tahun. Hal ini dikarenakan nilai PGA probabilitas mempunyai kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang 500 tahun.



Gambar 8. Peta intensitas seismik wilayah Sumatera periode ulang 500 tahun dari rumusan hasil studi.



Gambar 9. Peta intensitas seismik wilayah Sumatera periode ulang 500 tahun dari tabel Bolt¹⁸.

Perbedaan antara peta intensitas seismik (MMI) wilayah Sumatera untuk periode ulang 500 tahun dari hasil studi dengan hasil konversi tabel Bolt¹⁸ mempunyai selisih nilai intensitas seismik sekitar II MMI hingga III MMI.

3.7. Pendekatan Rumusan Empiris Hasil Studi dengan Berbagai Hasil Para Ahli

Pendekatan antara hasil studi dengan hasil penelitian para ahli dengan memasukan nilai PGA

tertentu kedalam persamaan studi dan para ahli. Dari nilai intensitas yang dihasilkan masing - masing rumusan akan didekati dengan metode uji statistik. Dari hasil pendekatan didapatkan nilai intensitas seismik (MMI) range 10 - 200 gal lebih

mendekati rumusan empiris dari Wald et al¹⁴⁾. Dan untuk range 250 - 1000 gal lebih mendekati rumusan empiris dari Lepolt¹⁵⁾. Hal ini terlihat pada tabel 1. Nilai intensitas pada tabel 1 berdasarkan rumusan pada persamaan 2 sampai 9.

Tabel 1. Hasil model studi dengan beberapa hasil model penelitian para ahli di luar negeri

No	data percepatan (gal)	GR	Hersberger	Trifunac B	Murphy	Shauter&shah	Wald	Lepolt Linkimer		Bolt	Hasil Studi
								Lepolt 1	Lepolt 2		
1	10	4.50	4.43	2.86	4.10	2.72	3.20	3.22	2.04	1 sampai 3	3.24
2	50	6.60	6.06	5.19	6.10	5.25	4.74	4.83	4.71	5 sampai 6	3.56
3	100	7.50	6.76	6.19	6.96	6.34	5.40	5.52	5.86	7.00	3.96
4	150	8.03	7.17	6.78	7.46	6.98	5.79	5.93	6.53	7 sampai 8	4.36
5	200	8.40	7.46	7.19	7.82	7.43	6.06	6.21	7.01	7 sampai 8	4.76
6	250	8.69	7.69	7.52	8.10	7.78	6.28	6.44	7.38	8.00	5.16
7	300	8.93	7.87	7.78	8.32	8.07	6.45	6.62	7.68	8 sampai 9	5.56
8	350	9.13	8.03	8.00	8.52	8.31	6.60	6.77	7.94	8 sampai 9	5.96
9	400	9.31	8.16	8.19	8.68	8.52	6.72	6.90	8.16	8 sampai 9	6.36
10	450	9.46	8.28	8.37	8.83	8.70	6.84	7.02	8.36	8 sampai 9	6.76
11	500	9.60	8.39	8.52	8.96	8.87	6.94	7.13	8.53	9.00	7.16
12	550	9.72	8.49	8.66	9.08	9.02	7.03	7.22	8.69	lebih dari 9	7.56
13	600	9.83	8.57	8.78	9.19	9.16	7.11	7.31	8.83	lebih dari 9	7.96
14	650	9.94	8.65	8.90	9.28	9.28	7.19	7.39	8.97	lebih dari 9	8.36
15	700	10.04	8.73	9.00	9.38	9.40	7.26	7.46	9.09	lebih dari 9	8.76
16	750	10.13	8.80	9.10	9.46	9.51	7.33	7.53	9.20	lebih dari 9	9.16
17	800	10.21	8.86	9.20	9.54	9.61	7.39	7.60	9.31	lebih dari 9	9.56
18	850	10.29	8.93	9.28	9.62	9.70	7.44	7.66	9.41	lebih dari 9	9.96
19	900	10.36	8.98	9.37	9.69	9.79	7.50	7.71	9.51	lebih dari 9	10.36
20	950	10.43	9.04	9.45	9.76	9.88	7.55	7.77	9.59	lebih dari 9	10.76
21	1000	10.50	9.09	9.52	9.82	9.96	7.60	7.82	9.68	lebih dari 9	11.16

→ Nilai Intensitas

IV. KESIMPULAN

- Perbandingan nilai PGA di batuan dasar untuk data BMKG wilayah Sumatera lebih lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan data USGS. Karena data BMKG mempunyai selang waktu 6 tahun. Sedangkan data katalog USGS mempunyai selang waktu 37 tahun.
- Nilai PGA di batuan dasar untuk data katalog USGS dan BMKG wilayah Sumatera untuk periode ulang 500 tahun mempunyai selisih nilai sekitar 0,25 - 0,5 g. Hal ini disebabkan oleh sebaran kejadian dan jumlah data gempa antara kedua katalog berbeda yang dapat mempengaruhi penggambaran karakteristik tektonik kegempaan (*b value*) dan keaktifan seismisitas yang berbeda juga.
- Perbandingan perhitungan nilai PGA di batuan dasar wilayah Sumatera untuk periode ulang 500 tahun antara hasil studi dengan peta SNI 2010 menunjukkan bahwa nilai dari kedua peta *hazard* gempa bumi memiliki pola kemiripan pada wilayah pulau Sumatera bagian timur.

- Kecuali pada beberapa selisih nilai di bagian barat pulau Sumatera dengan selisih sekitar 0,0 g - 0,1 g. Dan untuk wilayah segmen *Megathrust* terdapat beberapa perbedaan nilai PGA yang berkisar antara 0,0 - 0,2 g untuk daerah di luar pusat segmen *Megathrust* dan hingga mencapai 0,6 pada bagian dalam dari segmen. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor pertama yaitu penentuan parameter *a-b value* Faktor yang kedua rentang waktu pengambilan data.
- Nilai PGA di batuan dasar pada kota - kota besar di pulau Sumatera hasil studi seperti kota Banda Aceh sekitar 0,35 g, Medan 0,15 g, Pekanbaru 0,1 g, Padang 0,3 g, Muara Bungo 0,1 - 0,15 g, Kuala Tungkal < 0,05 g, Palembang 0,05 - 0,1 g, Bengkulu 0,25 - 0,3 g, Bandar Lampung 0,25 g.
- Dari hasil kurva *hazard* pada kota Aceh. Kontribusi *hazard* dari sumber gempa sesar, *shallow* dan *deep background* cukup besar.
- Berdasarkan nilai-nilai PGA dari hasil studi, mengindikasikan ada beberapa kota besar di pulau Sumatera yang sangat rentan terhadap

gempa bumi seperti kota Banda Aceh, Padang, Bengkulu, dan Bandar Lampung.

- g. Hasil hubungan empiris yang dapat digunakan untuk mengestimasi dengan cepat atenuasi intensitas seismik (MMI) di lokasi wilayah Sumatera yaitu:

$$I(\text{MMI}) = 0,008 * \text{PGA}(\text{gal}) + 3,159$$

- h. Perbandingan hasil peta intensitas untuk periode ulang 500 tahun antara hasil studi dan tabel MMI Bolt. Mempunyai selisih antara II MMI hingga III MMI. Hal ini disebabkan oleh kondisi wilayah Sumatera yang belum tentu sama dengan kondisi wilayah dimana tabel tersebut dibuat.
- i. Berdasarkan pendekatan hasil model studi wilayah Sumatera dengan beberapa hasil model penelitian para ahli di luar negeri. Didapatkan rumusan para ahli yang mendekati dengan hasil studi yaitu rumusan empiris Wald et al.¹⁴⁾ dengan nilai PGA 0-200 gal, sedangkan untuk nilai PGA 200-1000 gal yaitu rumusan empiris Lepolt¹⁵⁾. Hal ini disebabkan oleh kemiripan kondisi tektonik di wilayah penelitian Wald et al.¹⁴⁾ dan Lepolt¹⁵⁾.

V. Daftar Pustaka

- ¹⁾Afnimar. (2009). *Seismologi*, Bandung: Penerbit ITB.
- ²⁾Richter, C.F. (1958). *Elementary Seismology*. San Francisco: Freeman.
- ³⁾Natawidjaja, D.H. (2007). *Gempa Bumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam*. Symposium. ITB : Bandung.
- ⁴⁾Natawidjaja, D.H., & Triyoso, W. (2007). The Sumatran Fault Zone : from source to hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*. 1(1), 21-47.
- ⁵⁾McGuire, R.K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*. Colorado: Earthquake Engineering Research Institute.
- ⁶⁾Asrurifak, M. (2010). *Peta Respon Spektra Indonesia Untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi Dalam Analisa Probabilitas*. Draft Disertasi Program Studi Teknik Sipil, ITB.
- ⁷⁾Gardner, J.K., & Knopoff, L. (1974). *Is The Sequence of Earthquake in Southern California, With Aftershocks Removed*. Bulletin of Seismological Society of America, 64, 1363-1367.
- ⁸⁾Reiter, L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis-Issues and Insight*. New York: Columbia University Press.
- ⁹⁾Gutenberg, B. & Richter C.F. (1942). *Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration*. Bulletin of Seismology Society of America, 32, 163-191.
- ¹⁰⁾Hershberger, J. (1956). A Comparison of Earthquake Accelerations With Intensity Rating. *Bulletin of Seismological Society of America*. 46, 317-320.
- ¹¹⁾Trifunac, M.D and Brady, A.G. 1975. On The Correlation of Seismic Intensity Scale With the Peaks of Recorded Strong Ground Motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65, 139-162
- ¹²⁾Murphy J.R, & O'Brien, L.J. (1977). The Correlation of Peak Ground Acceleration Amplitude With Seismic Intensity and Other Physical Parameters. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67, 877 - 915.
- ¹³⁾Sauter, F., & Shah, H.C. (1978). *Estudio de Seguro Contra Terremoto*, Franz Sauter y Asociados Ltda. San Jose : Costa Rica.
- ¹⁴⁾Wald, D.J, Quitoriano, V., Haeaton, T.H., Kanamori, H. (1999). Relationship Between Peak Ground Acceleration, Peak ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. *Earthquake Spectra*, 15, 557-564.
- ¹⁵⁾Lepolt, L.. (2008). Relationship Between Peak Ground Acceleration and Modified Mercalli Intensity In Costarica. *Revista Geologica de America Central*, 38, 81-94.
- ¹⁶⁾Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiarnar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H. et al., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung.
- ¹⁷⁾Widiyantoro, S. (1986). *Atenuasi Intensitas Seismik*. Tugas Akhir, ITB: Bandung.
- ¹⁸⁾Bolt, B.A. (1993). *Abridged Modified Mercalli Intensity Scale, Earthquake - Newly Revised and Expanded*, Appendix C, W.H. Freeman and Co.